

УДК 539.4

ЭФФЕКТЫ ОТКОЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ В НАНОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2011 г.

И.В. Смирнов¹, А.А. Уткин²¹Санкт-Петербургский госуниверситет²Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург

a.utkin51@gmail.com

Поступила в редакцию 15.06.2011

При помощи структурно-временного подхода изучается откольная прочность в наносекундном диапазоне длительностей нагружения. Проведено исследование скоростной и временной зависимости прочности. Установлено, что разрушение возможно не в момент достижения нагрузкой максимального значения, а некоторое время спустя, когда значение напряжений в сечении откола начинает уменьшаться. Показана возможность описания эффекта «стабилизации» прочности, обнаруженного в экспериментах по отколу.

Ключевые слова: динамическое разрушение, импульсная нагрузка, откол, скоростная зависимость прочности, инкубационные процессы.

Откольное разрушение при воздействии кратковременных импульсов высокой интенсивности является важным объектом изучения закономерностей динамического разрушения материалов. При проведении испытаний по откольному разрушению алюминиевого сплава в наносекундном диапазоне длительностей нагружения обнаружено несколько эффектов [1, 2]. Установлено, что прочность по достижении скорости нагружения 107 с^{-1} перестает увеличиваться. Авторы экспериментов объясняют это явление достижением материалом теоретической прочности. Также было обнаружено, что в сечении откола к моменту разрушения напряжение может расти или разрушению может предшествовать временной интервал, на котором напряжение не меняется или даже слабо падает. В этом случае авторы экспериментов вводят в рассмотрение два механизма разрушения – динамический и квазистатический.

Применение структурно-временного подхода при воздействиях длительностью в микросекунды и более позволяет объяснить наблюдаемое в опытах увеличение прочности и качественно описать характер зоны разрушения [3]. Описанные выше эффекты могут быть получены при помощи критерия инкубационного времени. Критерий инкубационного времени имеет вид [3, 4]:

$$\int_{t-\tau}^t \sigma(s, x) ds < \sigma_c \tau,$$

где $\sigma(s, x)$ – напряжение в точке с координатой x в момент времени s ; τ – структурное (инкубационное) время – независимая характеристика ма-

териала размерности времени; σ_c – прочность материала в статике.

Для изучения скоростной и временной зависимости прочности было рассмотрено разрушение импульсами треугольной формы. При этом было обнаружено, что на поведение напряжения перед моментом разрушения оказывает влияние не только скорость нагружения, но и скорость спада нагрузки. Было обнаружено, что критические характеристики разрушения в равной мере определяют продолжительность воздействия, формы и амплитуды приложенного импульса в том числе, и скорость приложения нагрузки. Как правило, динамическую прочность связывают со скоростью приложения нагрузки, не принимая во внимание длительность действия нагрузки. Анализ разрушения при помощи критерия инкубационного времени показывает, что разрушение возможно не в момент достижения нагрузкой максимального значения, а некоторое время спустя, когда значение напряжений в сечении откола начинает уменьшаться. В этом случае связать прочность со скоростью нагружения уже не удастся, можно говорить только о временной зависимости прочности. Такая ситуация в работах [1, 2] называется квазистатическим механизмом разрушения. Какой будет механизм разрушения – квазистатический или динамический – определяется в первую очередь не скоростью приложения нагрузки, а амплитудой приложенного импульса и скоростью спада нагрузки. Если предположить, что скорость спада нагрузки близка к постоянной, то при относительно небольшой скорости нагруже-

ния (10^7 с^{-1} и менее) момент разрушения наступает на участке увеличения нагрузки. При более высоких скоростях нагружения разрушение происходит после достижения нагрузкой максимального значения, на спаде значений напряжений. С этим явлением и связан эффект «стабилизации» прочности.

Результаты описанных ранее экспериментов [1, 2] на алюминиевом сплаве АМг6М моделировались при помощи критерия инкубационного времени. При этом были приняты следующие механические характеристики материала: $\sigma_c = 335 \text{ МПа}$, $c = 5100 \text{ м/с}$, $\rho = 2690 \text{ кг/м}^3$, $\tau = 30 \text{ нс}$. На рис. 1 представлена зависимость динамической откольной прочности от скорости деформирования. На рисунке обозначено: кружки – экспериментальные результаты, представленные в работах [1, 2]; треугольники – экспериментальные результаты с искусственным откольным слоем из тех же работ; сплошная кривая – зависимость $\sigma^*(\dot{\epsilon})$, рассчитанная по критерию инкубационного времени. На рис. 2 показана зависимость динамической откольной прочности от продолжительности действия положительных напряжений в сечении откола. Здесь кружки – экспериментальные результаты, представленные в работах [1, 2]; сплошная кривая – зависимость, рассчитанная по критерию инкубационного времени.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– применение для анализа разрушения критерия инкубационного времени позволяет получить наблюдаемые при экспериментах эффекты, не связывая их с достижением материалом предельного значения прочности и не рассматривая два механизма разрушения;

– критерий инкубационного времени хорошо прогнозирует экспериментальные данные по отколу в наносекундном диапазоне длительностей воздействия;

– «динамическая» прочность материала, если принять в качестве таковой растягивающее напряжение в момент разрушения, не является константой, а зависит от длительности импульса; таким образом, материал может выдерживать любые напряжения, если они действуют в течение достаточно короткого времени.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №10-01-00810-а) и федеральных целевых программ.

Список литературы

1. Батани Д. и др. // Докл. РАН. 2003. Т. 389, №3. С. 328–331.
2. Красюк И.К., Пашинин П.П., Семенов А.Ю., Фортон В.Е. // Квантовая электроника. 2003. Т. 33, №7. С. 593–608.
3. Морозов Н.Ф., Петров Ю.В., Уткин А.А. // ДАН СССР. 1990. Т. 313, №2. С. 276–279.
4. Петров Ю.В., Смирнов И.В., Уткин А.А. // МТТ. 2010. №3. С. 200–210.



Рис. 1

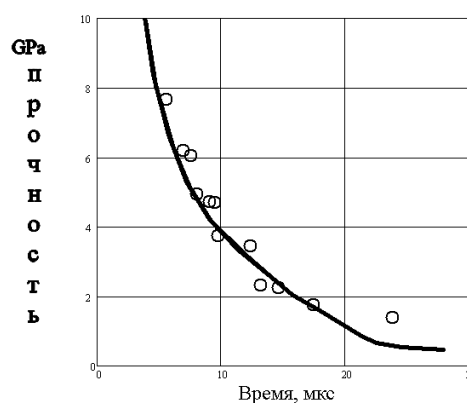


Рис. 2

EFFECTS OF SPALL FRACTURE IN NANOSECOND LOAD DURATION RANGE

I.V. Smirnov, A.A. Utkin

The spall strength in the nanosecond range of load duration is studied on the basis of the structural-temporal approach. Speed and time dependences of strength are investigated. It is established that the fracture is possible not at the moment to achieve the maximum value of stress, and some time later, when the stress in the cross section of spall begins to decrease. The possibility to describe the effect of the strength «stabilization», observed in experiments on spalling, is shown.

Keywords: dynamic fracture, pulse load, spall, strength dependence on the strain rate, incubation processes.